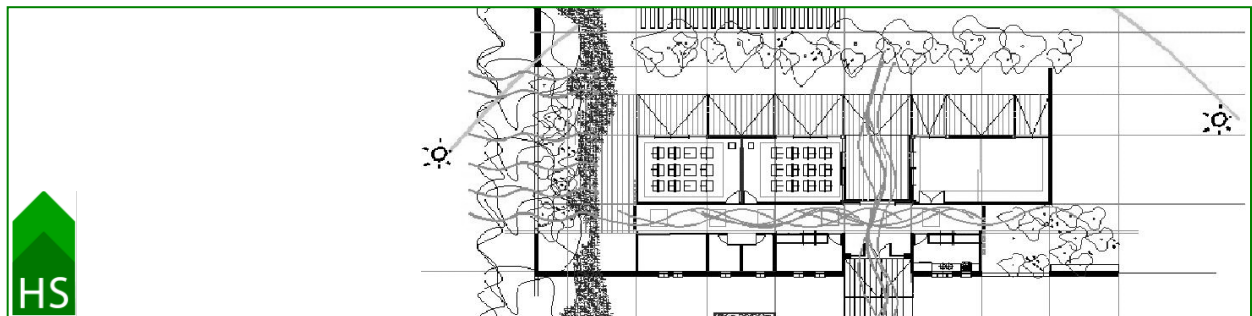


Análisis simplificado de la eficiencia energética de una escuela rural en La Pampa – Argentina – a lo largo de su ciclo de vida

Simplified analysis of energy efficiency of a rural school in La Pampa - Argentina - during its Life Cycle



Mariela Inés Marcilese marielamarcilese@gmail.com

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata – Argentina

Jorge Daniel Czajkowski czajko@yahoo.com

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata – Argentina



Palabras Claves
Eficiencia energética
Escuela rural
Ciclo de vida

RESUMEN

El caso de estudio de este trabajo es una escuela rural de la zona pampeana argentina donde se compara la eficiencia energética de un sistema constructivo de uso tradicional local y su versión mejorada basada en sistemas de diseño pasivos, durante su ciclo de vida. Además, se estiman valores de ahorro de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en función de la matriz energética argentina. La eficiencia, en términos de energía de un edificio, involucra la totalidad del consumo para su fabricación (extracción, transporte y montaje de los materiales), la puesta en obra, el mantenimiento y el desmantelamiento, reciclado y tratamiento final de los residuos. Conocer estos datos en la etapa de anteproyecto puede considerarse ventajoso ya que permitiría evaluar los materiales elegidos en términos de ahorro de energía y costos a fin de lograr amortizar su valor durante la vida útil e incorporar otras alternativas de diseño. En la actualidad existen significativos problemas derivados de la escasez de recursos. La implementación del análisis del CV debería constituir un aporte revelador en el ámbito de la construcción respecto a la concientización sobre ahorro y eficiencia energética, y por lo tanto contribuir al desarrollo sustentable de las sociedades.

ABSTRACT

Key Words
Energy efficiency
Rural School
Life cycle

The case study of this work is a rural school in La Pampa Region of Argentina where the energy efficiency of a construction system of traditional local use is compared to that of its improved version, based on passive design systems during its life cycle. In addition, Greenhouse Gas Emissions saving values are estimated according to the energy matrix of Argentina. The energy efficiency of a building involves the overall consumption for its construction process (extraction, transport and assembly of materials), on-site installation, maintenance and dismantling, recycling and final disposal of waste. Knowing this data in the preliminary stage can be of benefit since it would allow to evaluate the selected materials in terms of energy saving and cost in order to recover its value during its life cycle and introduce other design alternatives. At present there are significant problems derived from resource shortage. The analysis of the LC should be a significant contribution to the construction field concerning the awareness of energy saving and efficiency and thus fostering sustainable development of society.

1. Introducción

Las ciudades son organismos que consumen recursos y producen residuos. Con los cambios

climáticos y la demanda de recursos siempre en aumento, el mundo ha entrado en un periodo de escasez (Rogers, 2003). Teniendo en cuenta la gran repercusión que la industria de la

construcción tiene sobre el ambiente, la arquitectura no puede quedar sólo limitada a ordenar espacios. Este desafío está obligando a los “arquitectos” a contribuir “con otras disciplinas” en la búsqueda de “sinergias” positivas entre los sistemas, minimización de impactos negativos, y “el objetivo” común de la sustentabilidad (Mora et al, 2011).

Los arquitectos debemos explorar tecnologías pasivas, energías renovables y apelar a nuestra “capacidad creativa” para multiplicar el potencial de los recursos (Filippin, 2005).

Al plantear un proyecto ambientalmente consciente se pretende que sea sensible a su entorno, que responda a las condicionantes climáticas y de emplazamiento, que utilice materiales de bajo contenido energético, consumo racional del agua, uso eficiente de la energía e incorporación de energías renovables y cuidado de la calidad del ambiente interior, etc. (Thermie, 2007).

Existen ejemplos de arquitectura escolar representativos de esta arquitectura tanto en el contexto mundial como en Argentina. Entre ellos, el caso de las residencias estudiantiles de la Universidad de Strathclyde en Glasgow, Inglaterra; que datan del año 1987, que incorporan un sistema solar pasivo como fuente de calor para conseguir el confort térmico en el interior de los locales. En Argentina se han construido escuelas que buscan integrar principios de respeto por el ambiente a los sitios pedagógicos tratando el contexto rural con el fin de reducir el impacto e incursionando en estrategias de acondicionamiento climático que reduzcan la demanda de energía para calentar o mantener fresco el edificio (Filippin, 2005).

El análisis de ciclo de vida de los materiales forma parte de los nuevos instrumentos metodológicos utilizados en los últimos años. Principalmente para abordar los posibles impactos ambientales. Por ejemplo, el uso de recursos naturales y las emisiones a la atmósfera, a lo largo del ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima, la producción, el uso, el tratamiento y disposición al final de su vida útil (Setac, 2010).

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis simplificado que permita comparar el Ciclo de Vida de una escuela rural ideal localizada en la provincia de Buenos Aires, Argentina, según

un sistema constructivo de envolvente tradicional local y su versión mejorada.

3. Metodología

La norma ISO 14040 (2006) establece que “el LCA (Life-cycle Analysis) es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. El análisis del ciclo de vida (ACV), según la ISO 14040, consta de cuatro fases:

a. Definición de los objetivos y alcance: se establecen la finalidad del estudio y la magnitud, el producto implicado, etc.

b. Análisis del Inventario (Life Cycle Inventory LCI): el ACV implica una serie de procesos y sistemas conectados que generan flujos entrantes y salientes (extraídos del ambiente natural o bien emitidos a él); por lo que en esta etapa se calculan los requerimientos energéticos y la eficiencia energética, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas. El ciclo de vida implica la definición explícita de las variantes en el tiempo como: durabilidad, facilidad de mantenimiento, posibilidad de reparación, la adaptabilidad, la capacidad de actualización, etc, así como las medidas de los impactos de los recursos, de constructibilidad, reciclaje, reutilización, etc. En esencia, disminución del confort, problemas de salud y menor durabilidad se originan en la falta de comprensión de las repercusiones que los flujos de energía tienen en un edificio (Mora et al, 2011).

c. Evaluación del Impacto (Life Cycle Impact Assessment- LCIA): según los resultados del inventario se realiza una clasificación en relación con efectos ambientales observables.

d. Interpretación de resultados: se realiza según los objetivos del estudio y a partir de allí se toman decisiones pertinentes.

Este método ha sido elaborado en función del sector productivo-industrial por lo que es necesaria su adaptación si se quiere trasladar al ámbito edilicio. Sin embargo, el ACV sigue una metodología determinada, pero capaz de permitir un análisis flexible y aplicable en diferentes áreas. En Argentina, el Dr. Ing. Pablo Arena es uno de

los investigadores que ha incursionado en el tema del ACV y ha sido de referencia para la realización de este trabajo (Arena, 2003). Sin embargo, es importante destacar que se realizó una versión simplificada de su metodología (Fig. 1).

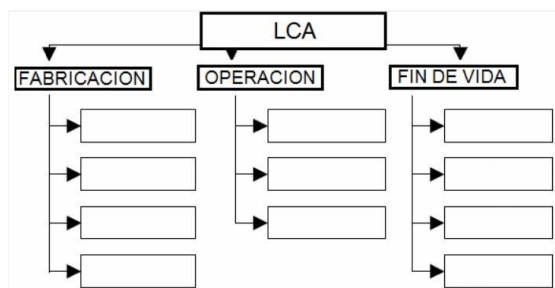


Figura 1: Esquema representativo del ciclo de vida. Fuente: Arena, 2009.

Figure 1: Representative diagram of the life cycle. Source: Arena, 2009.

Para lograr un análisis ordenado del CV del edificio se definieron cuatro etapas:

- a. Proyecto, donde se definen estrategias funcionales, espaciales y tecnológicas por materializar;
- b. Materialización, que involucra la energía necesaria para la construcción del edificio;
- c. Uso del edificio construido, donde se analiza la energía requerida para la utilización del mismo;
- d. Fin del CV, donde el objeto arquitectónico llega al final de su vida útil.

En este trabajo se hizo hincapié en el estudio de las etapas a, b y c del CV. Respecto de la etapa d se aclara que no existe en Argentina un sistema homologado y legislado para la recuperación y/o reuso de los materiales derivados de la demolición de edificios.

De acuerdo con la experiencia europea, la etapa final del ciclo de vida no suele superar el 5% de los impactos de la etapa de uso de un edificio existente (Nemry, et.al., 2010).

En la primera etapa se planteó un modelo de escuela rural incluyendo estrategias de diseño ambientalmente consciente (que tenga por objeto producir arquitectura sustentable) y recomendaciones sugeridas para esta región bioclimática.

Para la segunda etapa se realizó la determinación del contenido energético de los materiales de la envolvente utilizados generalmente en el ámbito local y de su versión mejorada, que incorpora medidas para el aumento de la eficiencia energética de la envolvente.

Es importante aclarar que en el caso de Argentina, la evaluación energética y ambiental de los materiales y componentes que intervienen en la construcción de un edificio es una tarea difícil de realizar ya que no hay datos disponibles. Por esta razón en este trabajo fueron tomados de bases españolas, específicamente de la Guía de Edificación Sostenible del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE (IDAE, 1999). Estos datos hacen referencia al contenido energético de los materiales en los procesos de extracción de la materia prima, fabricación, transformación, transportes asociados, puesta en obra, sin considerar, por ejemplo en los transportes, la parte proporcional de la energía invertida en la construcción y/o mantenimiento de las infraestructuras o medios precisos para ejecutarlos. Tampoco se contabiliza la energía humana utilizada en la mano de obra de los distintos procesos mencionados. Es sabido que en ciertos casos, éstos podrían ser datos poco representativos del ámbito local, sin embargo, no existe otra opción que utilizarlos para el presente trabajo y a medida que vayan apareciendo valores propios, se irán reemplazando y actualizando en futuras investigaciones.

Para la tercera etapa, se recurrió al software AuditCad (Czajkowski, 1999) que permite analizar mensualmente el comportamiento térmico y energético del edificio. Se requiere el ingreso de características del edificio como son el grado de ocupación, el nivel de iluminación, etc. Los resultados que el software arroja son la demanda de energía eléctrica, gas licuado de petróleo, distinguiendo la demanda con sol y sin sol (días nublados). Luego se exportaron los datos a una planilla de cálculo para su análisis. Estudios anteriores han concluido que el 80% del impacto total de los edificios se produce durante la etapa de operación-uso, altamente influenciada por la demanda de energía para calefacción (Wallhagen, et. al, 2011) (Dylewski y Adamczyk, 2011). Como se mencionó anteriormente, la fase 4 no ha sido tomada en cuenta.

3.1 Proyecto

En la fase inicial del proyecto es donde se encuentra el mayor potencial de optimización del edificio. Allí es donde se pueden tomar las decisiones más trascendentes y a bajo costo respecto de su eficiencia energética, en comparación con la adecuación del mismo durante su vida útil (Arena, 2003).

El modelo de escuela ideal se localiza en el área rural de Dolores (lat .36° long .57° - 6 msnm) provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 2).

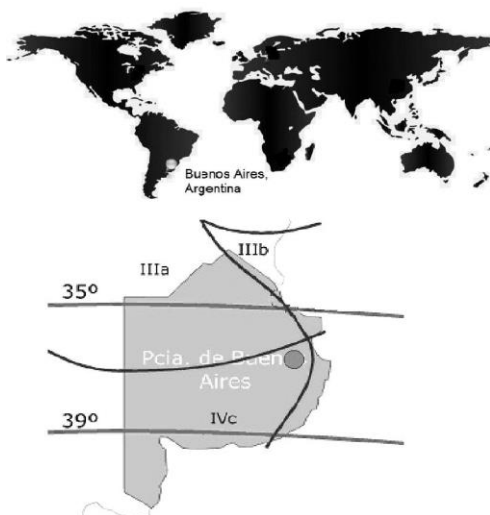


Figura 2: Argentina. Dolores, provincia de Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia con datos de IRAM 11603

Figure 2: Argentina. Dolores, province of Buenos Aires. Source: Own Elaboration with data of IRAM 11603

Esta región está clasificada como III-Templada cálida, subzona III-b cálida-húmeda. (Norma IRAM 11603), correspondiente a Cfa en la clasificación de Köppen. Se caracteriza por el alto nivel de humedad relativa (entre 70 y 85 %) y amplitudes térmicas menores a 14° C.

Para esta zona, existen recomendaciones de diseño a tener en cuenta:

- Orientación óptima NNO-N-NNE
- Utilización de colores claros. En techos, el doble de aislamiento térmico que en muros
- Terrazas jardín / Fachadas ventiladas / Carpinterías con protección solar móvil
- Verificar que en invierno se cumplan dos horas mínimas de sol en los locales principales
- Materiales recomendados con una masa térmica media de 200 a 300kg/m² (Czajkowski &

Gómez, 2009).

Las escuelas rurales más pequeñas suelen contar con 2 a 4 aulas, un salón de usos múltiples con un área de servicio de apoyo, sanitarios y una habitación para el maestro. En este caso se ha planteado también un depósito y una zona de huerta al aire libre. La escuela - de 225m² - se organiza en una planta de forma lineal y recibe la mejor orientación en la fachada longitudinal, hacia donde se ubican aulas y SUM (Salón de Usos Múltiples). Según funciones, la planta del proyecto se puede analizar en cuatro sectores:

- Circulación: doble crujía, con posibilidad de abrirse en sus extremos para lograr corrientes de ventilación que refresquen todo el edificio y es iluminado naturalmente en forma cenital.

- Zona de servicios (sanitarios, cocina, depósitos): orientados al sur. Posee una mínima superficie de ventanas y una protección de tierra natural que funciona como masa térmica. Sobre la cubierta, se ubican paneles de agua caliente solar, fotovoltaicos y tanques de agua.

- Aulas y SUM: poseen ganancia solar directa y sistemas solares pasivos para calentamiento del aire interior. Las carpinterías tienen incorporado un medio de ventilación independiente en la zona superior que permite regular las condiciones del aire interior. El control de la temperatura así como de la iluminación se consigue a través de una galería a lo largo de la fachada norte.

Espacios exteriores y patio interno: tienen en cuenta el confort visual general del edificio y a su vez, favorecen el confort térmico interior. Hacia el E y S se plantea vegetación de baja altura que no interfiere en el paso de los rayos de sol de la mañana y no den sombra. Al O y N se proponen árboles de mayor altura que protejan del sol y refresquen el área en épocas de calor, y actúen contrariamente en épocas frías. En el centro se propuso un patio interno para airear el corazón del edificio además de integrar los espacios adyacentes física y visualmente (Fig. 3 y 4).

3.2 Materialización

Para calcular la rentabilidad de una inversión, se debe determinar el periodo de amortización de la misma. Si se trata de un edificio, el objetivo es optimizar el valor del mismo durante su vida útil, teniendo en cuenta todos sus costes, tanto directos como indirectos.

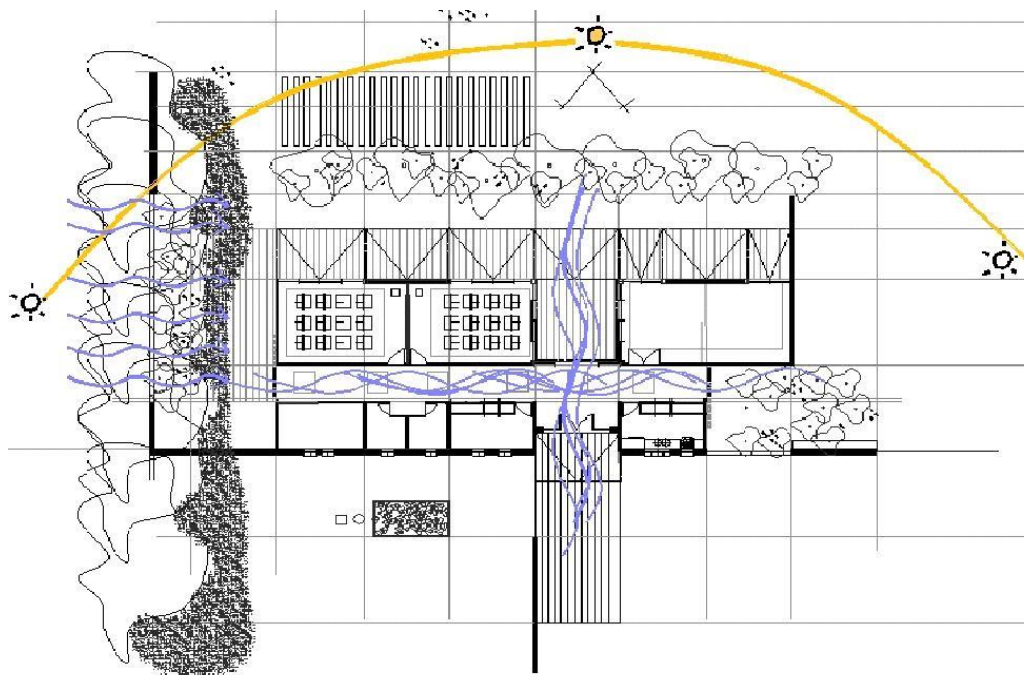


Figura 3: Modelo de planta de escuela ideal con principios de diseño ambientalmente consciente. Fuente: Marcilese y Czajkowski, 2009.

Figure 3: Ideal school floor plan with environmentally conscious design principles. Source: Marcilese y Czajkowski, 2009.

La selección de los materiales que integran un edificio influye profundamente tanto en el diseño como en el desempeño del mismo. Además, debe tenerse en cuenta que han consumido gran cantidad de energía aún antes de ser empleados en la construcción de una obra. Desde su extracción, transporte y proceso del material hasta su colocación (Utamaa y Gheewala, 2008).

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 12cm + revoque interior $U=1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos vidriados: marco de aluminio + vidrio simple 5mm $U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cubierta: chapa + aislamiento térmico con EPS (poliestireno expandido) esp.2.5cm + machimbre madera pino $U=0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$

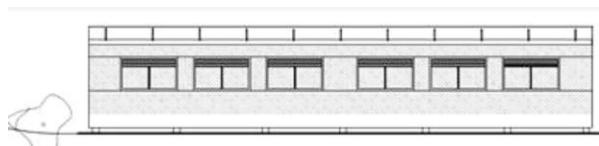


Figura 4: Modelo de fachada norte del sector de aulas. Relación vidrio / opaco = 0.22. Relación vidrio / sup. de local = 0.13. Fuente: Marcilese y Czajkowski, 2009.

Figure 4: North side. Classrooms sector. Relationship glass / opaque wall = 0.22. Relationship glass / area = 0.13. Source: Marcilese y Czajkowski, 2009.

3.2.1 Opción construida con materiales tradicionales locales (O1)

La elección de materiales se hizo basándose en el relevamiento del parque educativo actual y a partir de documentación gráfica facilitada por el Ministerio de Educación de la Provincia de Buenos Aires.

3.2.2 Opción mejorada (O2)

En cuanto a la elección de los materiales y sistemas constructivos, un edificio ambientalmente consciente busca aquellos con menor contenido energético y mayor rendimiento térmico (Thermie, 2007). Estas propiedades se encuentran a partir del análisis de su proceso de fabricación, que como ya se ha señalado, es materia pendiente en nuestro país y entonces, esta información debe tomarse de bases de datos externas.

Por otro lado, en Argentina, la Norma IRAM 11.605 establece parámetros de confort térmico. La Ley 13059/03 Decr.1030/10 establece el nivel B como admisible. Para invierno, nivel B 20°C y nivel A 22°C . La aplicación de aislamiento térmico en la envolvente está considerada como una de las formas de ahorro de energía térmica y

por lo tanto, más eficaz la en función de la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Dylewski y Adamczyk, 2011). Otros estudios encuentran que las mayores reducciones en el consumo de energía se deben tanto al aumento del aislamiento térmico como a la implementación de ventanas con mejores valores de U (Wallhagen, et. al, 2011).

Los materiales que se proponen en este sistema constructivo mejorado, ubicarían a la escuela entre las categorías A y B que propone la norma citada.

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 12cm + aislamiento térmico con EPS esp. 5cm + mampostería de ladrillo hueco de 8cm + revoque interior $U=0.41W/m^2K$

- Cerramientos vidriados: marco de aluminio + doble vidriado hermético (DVH) $U=2,85 W/m^2K$

- Cubierta: chapa + aislamiento térmico con EPS esp.10cm + cámara de aire $U=0.39W/m^2K$

Según la Norma IRAM 11549, el coeficiente K o U de transmitancia térmica, indica el flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire en ambos lados del elemento de 1° C, y se calcula de acuerdo con el método y las características térmicas de materiales y capas constructivas indicados en la norma IRAM 11601.

3.2.3 Sistema de iluminación

En Argentina, se establecen en la norma IRAM AADL J20-06 los niveles de iluminación mínimos para más de 200 actividades según tipo de edificio, local y tarea visual por desarrollar. Dicha norma data del año 1972 y fue reeditada sin modificaciones en 1996 (Pattini, 2000). Los valores allí establecidos para iluminación en escuelas se encuentran cerca de los 500lux. Se consideraron lámparas de bajo consumo tanto en aulas como en servicios, corredores y SUM, para definir la potencia de iluminación.

3.2.4 Sistema de calefacción

En Argentina, el sistema de calefacción generalizado es el de tiro balanceado. Se trata de un equipo que consiste en una cámara de combustión estanca que intercambia aire y gases de combustión con el ambiente exterior, y sólo calor con el ambiente interior de la vivienda a través de sus superficies. Estos equipos tienen la

ventaja de no consumir oxígeno ni aportan gases de la combustión al ambiente interior. La eficiencia térmica de calor transferido al ambiente se encuentra entre el 40 % y el 60 % (González y Juanicó, 2008).

3.3 Uso del edificio construido

Las condiciones climáticas y las características tecnológicas de un edificio determinan la cantidad de energía necesaria para acondicionar sus ambientes, tanto en épocas de frío como de calor. Para maximizar el confort, y predecir y prevenir situaciones no deseables, es prudente conocer el posible comportamiento térmico del mismo y los requerimientos de energía (Filippín, 2005).

Las escuelas rurales en Argentina no suelen estar conectadas a todos los servicios por sistema de red. En esos casos se abastecen por otros medios. En el presente caso, se analizó la escuela suponiendo que sí está conectada a la red eléctrica, pero que el sistema de calefacción se abastece con gas licuado de petróleo (GLP).

Como se ha dicho anteriormente, se utilizó el software AuditCad para estimar los consumos de energía (electricidad para iluminación y gas para cocción de alimentos y calefacción) suponiendo que la totalidad de los ambientes de la escuela se encontraban en condiciones de confort. Los parámetros involucrados en el análisis fueron:

- Compacidad: 0.44
- Factor de forma: 0.84
- Factor de exposición: 0.72
- Temperatura media exterior: 10° C
- Temperatura interior de diseño en aulas: 20° C
- Temperatura interior de diseño en zona de servicios, corredor y SUM: 18° C
- Ganancias internas x ocupación: 52 personas
- Ganancias internas x iluminación: 400 lux = 16W/m² en aulas, 250 lux = 10W/m² en servicios, corredor y SUM.

4. Resultados

Se analizaron los consumos energéticos en las diferentes etapas del ciclo de vida del edificio y las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera, según el sistema constructivo tradicional y la

versión mejorada. Además, las pérdidas que se generan a través de las envolventes y los aportes de los factores que conforman carga térmica de la escuela.

4.1 Etapa de construcción. Requerimiento de energía (EE) y emisiones de CO₂ (CO₂E)

Se realizó el cálculo del contenido energético a partir de la mencionada base de datos, que involucraría la construcción de la escuela utilizando tanto las formas constructivas tradicionales locales como su versión mejorada. El análisis se hizo por m² total construido (Tabla 1).

Tabla 1: Etapa de construcción. Energía requerida por m². Fuente: Elaboración propia según datos de IDAE, 1999

Table 1: Construction stage. Embodied energy by m². Source: Own Elaboration with data from IDAE, 1999

Rubro	EEO1		EEO2	
	kW/m ²	%	kW/m ²	%
Estructura H°A	0,125	38,344	0,125	35,311
Cubierta	0,033	10,123	0,038	10,734
Muros	0,136	41,718	0,157	44,350
Carpinterías	0,002	0,613	0,002	0,565
Vidrio	0,030	9,202	0,032	9,040
Totales	0,326	100,000	0,354	100,000
Diferencia			0,03 kW/ m ²	8%

Desde el siglo XIX, las emisiones de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera han ido aumentando exponencialmente. Parte importante de este aumento se debe a la quema de combustibles fósiles (IPCC, 2007). En la industria de la construcción se emplea este recurso como una de las principales fuentes de energía, por lo tanto implica la revisión de cómo se diseñan y construyen los edificios (Edwards, 2008). Se realizó el análisis de las emisiones de CO₂ proyectadas al ambiente que esta escuela generaría con ambas formas de construir. Para esto se utilizó el programa de cálculo creado por la US Environmental Protection Agency (EPA) con la matriz energética argentina (González, 2010). Al respecto debemos decir que los valores que brinda la calculadora de la EPA ("Greenhouse Gas Equivalencies Calculator", 2012) son para la matriz energética de los EE.UU., donde gran parte de la generación eléctrica es por carbón. En Argentina, la fuente de generación eléctrica más difundida es la hidroeléctrica, que aproximadamente es un 50% más limpia. Para utilizar la calculadora se debe indicar un valor referido por ejemplo a: "litros de gasolina consumidos", "kWh de electricidad", "termias de gas natural", etc., y automáticamente se obtiene

el resultado en dióxido de carbono o CO₂ equivalente. En nuestro caso, los resultados fueron:

$$ECO_2O1 = 0.27 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2$$

$$ECO_2O2 = 0.31 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2$$

4.2 Etapa de uso. Demanda potencial de energía (EE) y emisiones de CO₂ (CO₂E)

Con el software AuditCad se calculó la demanda potencial de energía estimando un período de 50 años de vida útil del edificio. Y en relación a ello, las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera utilizando el programa de la EPA antes mencionado. Es importante aclarar que no se consideró la energía requerida para el mantenimiento ni reposición de elementos constructivos durante el período de uso. En estudios previos sobre ACV se considera período de 50 años de vida de los edificios. El objetivo es generalizar un factor de realidad que varía según el tipo de construcción, materiales, etc. (Wallhagen, et. al., 2011). Si pensamos en las escuelas, es probable que en 50 años se generen grandes modificaciones en el edificio, pero teniendo en cuenta casos analizados en nuestro país, siempre se trata de ampliaciones de la escuela original, por lo tanto, consideramos válido tomar 50 años como período de vida útil.

$$EEO1 = 29058 \text{ kWh/m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$CO_2EO1 = 11,65 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$EEO2 = 9892 \text{ kWh/m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$CO_2EO2 = 3,8 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2 \times 50 \text{ años}$$

4.3 Resumen. Demanda potencial de energía y emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida

En la tabla 2 puede observarse que respecto de la etapa de construcción (inicial), la energía requerida y las emisiones de CO₂ varían ligeramente en ambas opciones. Pasado un año de uso de la escuela, comienza a notarse la disminución tanto en el consumo de energía como en las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera al aplicarse las mejoras. Esta diferencia, del 66%, se mantiene constante a lo largo de toda la vida útil del edificio, resultando un consumo aproximadamente 3 veces menor con la O2 y en forma proporcional, la diferencia de emisiones a la atmósfera.

Durante la etapa de funcionamiento del edificio, el consumo estimado de energía eléctrica

se mantendría igual, tanto en el caso tradicional como en el mejorado ya que no se propusieron modificaciones respecto del sistema de iluminación. Respecto del consumo de energía para calefacción sí se registraron cambios debido al mejoramiento de la envolvente. Los valores corresponden a un período anual (Fig. 4).

Tabla 2: Comparación. Energía requerida y emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida (Elaboración propia según: EPA
Table 2: Comparison between embodied energy and CO₂ emissions during the life cycle. Source: Own Elaboration

Hora	O1	O2	Dif.
Energía requerida (hra) kW/m ²	326	354	8%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	0,27	0,31	11%
	TnCO ₂ /m ²		
Año	O1 por año	O2 por año	Dif.
Energía requerida (hra) kW/m ²	581,14	197,80	66%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	0,22	0,075	66%
50 Años	O1 por 50 años	O2 por 50 años	Dif.
Energía requerida (hra) kW/m ²	29058	9892	66%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	11,65	3,8	68%

Se analizó la escuela según la O1 y O2. Cada caso se supuso implantado según una orientación favorable (con sol) y desfavorable (sin sol). Se observa, que durante el período de mayor necesidad de calefacción (época de frío, entre julio y agosto), la disminución del consumo de LPG con el sistema mejorado es significativa. En los meses de menor requerimiento de calor, con la O1 existe una intensidad de consumo ascendente y mientras que la misma disminuye con la O2. Entre ambas opciones existe un

desfase temporal: con la O2 se retrasa 30 días el encendido (teórico) del sistema de calefacción para lograr un nivel de confort (Fig. 5).

A partir de los datos obtenidos con la figura 4 y los GDC18 de la localidad de Dolores, se elaboró el índice de consumo de LPG en Argentina:

$$ICLPG = 0,025 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y } ^\circ\text{D}$$

4.4 Análisis de las pérdidas generadas en la envolvente

En el caso de la escuela tradicional, las pérdidas a través de la envolvente se distribuyeron de la siguiente manera:

- Cubierta: 39% (762W/°C)
- Renovaciones de aire (2RA): 22% (426W/°C)
- Muros: 14% (270W/°C)
- Ventanas: 18% (342W/°C)
- Puertas: 3% (54W/°C)
- Pisos: 4% (86W/°C)

En el caso mejorado, las pérdidas se distribuyeron de esta manera:

- Cubierta: 10% (87W/°C)
- Renovaciones de aire (2RA): 49% (426W/°C)
- Muros: 7% (60W/°C)
- Ventanas : 18% (161W/°C)
- Puertas : 6% (54W/°C)
- Pisos : 10% (86W/°C)

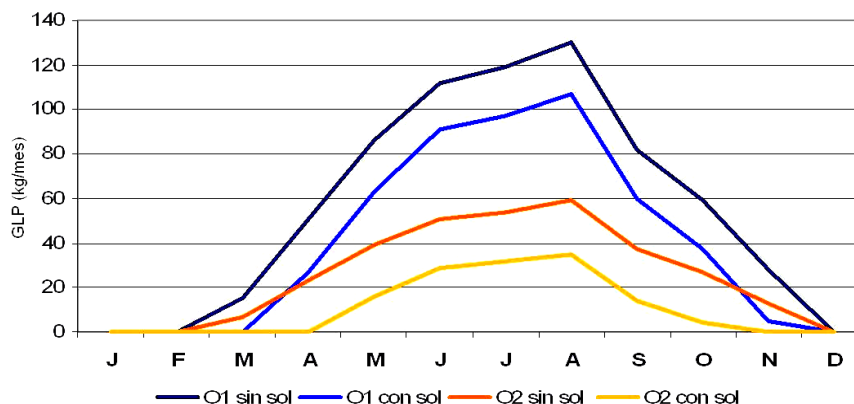


Figura 5: Comparación. Consumo de LPG (kg/mes) durante un año de funcionamiento del edificio escolar. Fuente: Elaboración propia.

Figure 5: Comparison. Consumption of LPG (kg/month) over a year of a school building usage. Source: Own Elaboration.

En Argentina, sólo se contempla la ventilación natural no existiendo antecedentes normativos para uso de intercambiadores de calor y emisiones de CO₂ en edificios escolares.

La figura 6 muestra la diferencia de pérdidas entre el sistema tradicional y mejorado. Se observa que la zona crítica de la envolvente es en la cubierta. Al aplicar las mejoras en el sistema constructivo, se genera una reducción de siete veces en la capacidad de pérdidas por techos. Esta reducción de pérdidas también se refleja en la envolvente vertical opaca, y en menor medida, en cerramientos vidriados.

Se analizaron los factores que conforman la carga total del edificio (Fig. 7 y 8). Del balance, se obtiene que con la O1, el aporte por demás significativo es el del gas envasado debido a las necesidades de calefacción de la escuela. Mientras que en el caso mejorado, los aportes de gas disminuyen debido a una optimización de la envolvente y se nivelan con las cargas por ocupación, resultando una situación general más equilibrada.

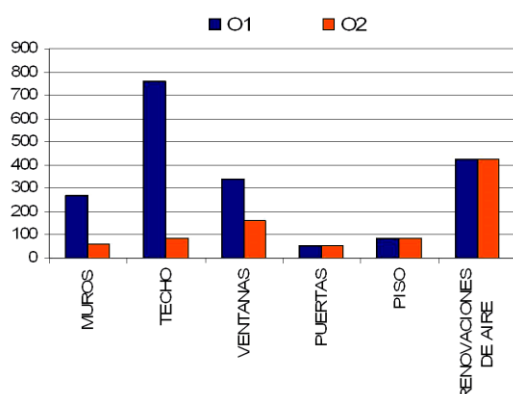


Figura 6: Diferencia de pérdidas por envolvente. Fuente: Elaboración propia.

Figure 6: Difference of loss through the envelope. Source: Own Elaboration.

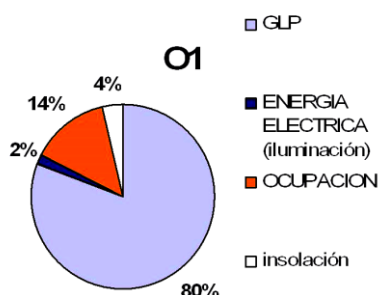


Figura 7: Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado. O1=581.14 kWh/m2.y. Fuente: Elaboración propia.

Figure 7: Data uploaded to the AuditCAD for the building design. O1=581.14 kWh/m2.y. Source: Own Elaboration.

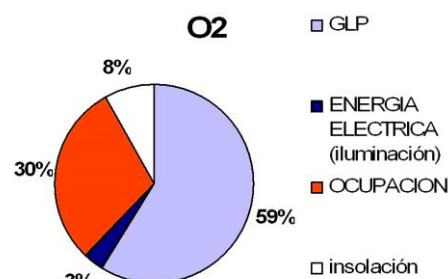


Figura 8: Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado. O2=197.8 kWh/m2.y. Fuente: Elaboración propia.

Figure 8: Data uploaded to the AuditCAD for the building design. O2=197.8 kWh/m2.y. Source: Own Elaboration.

5. Conclusiones

Hacer un análisis de consumos y ahorros a partir del conocimiento del ciclo de vida de un edificio es beneficioso tanto en materia energética, como ambiental y económica a largo plazo, este último factor, sobre todo si consideramos las variaciones de los precios de la energía, siempre en aumento.

A partir de los resultados se puede deducir que incorporar mayor cantidad de aislamiento térmico en la envolvente reduciría las necesidades de calefacción y refrigeración con los consecuentes ahorros económicos y propiciaría un mayor equilibrio entre las pérdidas y ganancias de calor.

Las estrategias implementadas en la versión constructiva mejorada (período de pre-ocupación) son medidas de factible aceptación por parte de los profesionales de la construcción y manejo de la mano de obra, por lo que resultaría viable la implementación de aquellas en los edificios escolares de la región.

El aumento del consumo energético y mayores emisiones de CO₂ que surgen con la versión mejorada en la etapa de pre-ocupación, resultan poco significativos si se tiene en cuenta la energía que esa escuela consumiría durante los próximos 50 años de vida útil (aproximadamente la tercera parte de la que se consumiría con la opción tradicional).

A partir de las variables analizadas podrían justificarse las propuestas de mejoramiento, pero sería pertinente complementar este trabajo a partir de un análisis de costos y período de amortización.

Sería de gran valor que en Argentina comenzaran a realizarse evaluaciones de calidad

en los elementos constructivos y así poder lograr una base de datos con sus propiedades de acuerdo con los diferentes procesos de fabricación que permitan ser utilizados en evaluaciones del ciclo de vida en lugar de tener que recurrir a información de otros países.

Con este análisis simplificado del CV se pueden obtener ideas para reducir consumos de energía y emisiones de CO₂, reducir o fomentar el uso de determinados materiales y tener una noción general del comportamiento de un edificio. Todo esto en poco tiempo y a bajo costo.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer a la Arq. María Belén Salvetti por su colaboración en los cálculos con el programa AuditCad, de gran importancia para el desarrollo de este trabajo. Además, quisiéramos destacar que este trabajo se desarrolla gracias al proyecto de investigación U102 financiado por la UNLP y en el marco de una Beca doctoral otorgada por CONICET.

Referencias Bibliográficas

- Arena, Pablo y De La Rosa, Carlos, (2003). Life Cycle Assessment of Energy and Environmental Implications of the Implementation of Conservation Technologies in School Buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*. 38, (2), 359-368.
- Arena, Pablo (2005). *Análisis del Ciclo de Vida del Edificio y Sustentabilidad Ambiental de los Edificios. Experiencias en Argentina*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Argentina.
- Arena, Pablo (2009). Evaluación comparativa de turbinas eólicas de gran potencia empleando metodología de análisis de ciclo de vida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13.
- Camboim Salatino, Renata y Sattler, Miguel Aloisio. (2009) "Análise comparativa do comportamento térmico de salas de aula de duas edificações escolares distintas, no período do solstício de verão". *ELECS. Sustentabilidade do ambiente construído. O que voce tem com isso?*
- Czajkowski, Jorge. "Programa AuditCad para el Análisis del Comportamiento Energético Edificio Basado en Auditorías Energéticas y de Confort". *V Encontro de Conforto no Ambiente Construído*. 6 págs. CD. Brasil, 1999.
- Czajkowski, Jorge. y Gómez, Analía. (2009) *Arquitectura Sustentable*. Editorial Clarín.
- Dylewski, R. y Adamczyk, (2011) J. Economic and Environmental Benefits of Thermal Insulation of Building External Walls. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 2615-2623.
- Environmental Protection Agency. "Greenhouse Gas Equivalencies Calculator". Último acceso: 18-4-13. Disponible en: <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>
- Filippin, C. (2005) Thermal Response of Solar and Conventional School Building to Design-and- Human-Driven Factors. *Renewable Energy* 30, 353-376.
- González, Alejandro. (2010) Comparación de energías y gases de efecto invernadero en calentamiento de agua para cocción de alimentos con electricidad y gas natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- González, Alejandro; Juanicó, L y Gortari, S. (2008) High-Efficiency Prototypes of Commercial Gas Heaters Extensively Used in Argentina. *Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy*, 33.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, Ministerio de Fomento y Fundación Privada Institut Ildefons Cerdà. (1999). *Guía de edificación sostenible. Calidad energética y medioambiental en edificación*. España.
- IRAM Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Serie de normas sobre acondicionamiento térmico de edificios; 1990-1999: IRAM 11549. "Aislamiento Térmico de Edificios"; IRAM 11601. "Método de cálculo de la resistencia térmica de muros y techos"; Buenos Aires; IRAM. 11900. "Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios". www.iram.org.ar
- ISO14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework.
- Marcilese, M y Czajkowski, J. Pautas de diseño ambientalmente consciente para escuela rural en microclima platense. (2009). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13*, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Nemry, F; Auihleina, A, Colodel, C; Wetzel, C; Braune, A; Wittstock, B; Hasanc, I; Kreißig, J; Gallond, N; Niemeier, S y Frechc, Y. (2010). Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs. *Energy and Buildings* 42, 976 - 984.
- Pattini, Andrea. (2005) Recomendaciones de Niveles de Iluminación en Edificios no Residenciales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9,
- Rogers, Richard. (1993) *Ciudades para un Pequeño Planeta*. Australia.
- Rosenfeld, E; Díscoli, C. Y Romero, F. (1977) *Edificios Inteligentes*. Argentina.
- Thermie. (2007) *Un Vitruvio Ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona. España.
- Utamaa, A. y Gheewala, S. (2008) Life cycle energy of single landed houses in Indonesia. *Energy and Building*, 40, 1911-1916.
- Wallhagen, M; Glaumann, M y Malmqvist, T (2011)

Basic Building Life Cycle Calculations to Decrease Contribution to Climate Change e Case Study on an Office Building in Sweden. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 1863-1871.

Zabalza Bribián, I.; Valero Capilla, A. y Aranda Usón, A. (2011) Life Cycle Assessment of Building Materials:

Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-efficiency Improvement Potential. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 1133-1140.

Recibido: 19|04|2012

Aceptado: 02|04|2013